

EUROPEAN PATENT OFFICE

Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2002289932
PUBLICATION DATE : 04-10-02

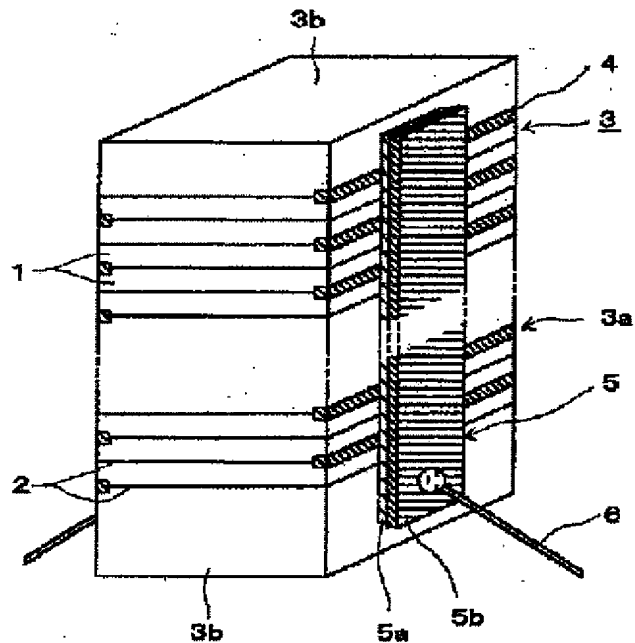
APPLICATION DATE : 22-03-01
APPLICATION NUMBER : 2001083751

APPLICANT : KYOCERA CORP;

INVENTOR : SETOGUCHI TAKESHI;

INT.CL. : H01L 41/083 H01L 41/09 H01L 41/22

TITLE : LAMINATED PIEZOELECTRIC
ELEMENT, MANUFACTURING
METHOD THEREFOR, AND JETTING
DEVICE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a laminated piezoelectric element, together with its manufacturing method and a jetting device, where cracks caused by contraction difference at baking between an inactive body and an active body is suppressed, while stress rupture near an interface between the inactive body and the active body at driving is prevented.

SOLUTION: The laminated piezoelectric element comprises a pair of external electrodes 5, in which internal electrodes 2 are alternately connected at every other layer, on a side surface of a columnar laminate 3 comprising an active body 3a, in which a plurality of piezoelectric bodies 1 and a plurality of internal electrodes 2 are alternately laminated and an inactive bodies 3b provided to upper and lower surfaces of the active body 3a, with the active body 3a and the inactive body 3b being baked at the same time. Piezoelectric ceramic particles constituting the piezoelectric body 1 are present in the internal electrode 2, and the amount of piezoelectric ceramic particles in the internal electrode 2, on the inactive body 3b side of the active body 3a, is larger than the internal electrode 2 at the central part of the active body 3a.

COPYRIGHT: (C)2002,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-289932
(P2002-289932A)

(43) 公開日 平成14年10月4日 (2002.10.4)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 L 41/083		H 0 1 L 41/08	Q
41/09			U
41/22		41/22	Z

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2001-83751 (P2001-83751)

(22) 出願日 平成13年3月22日 (2001.3.22)

(71) 出願人 000006633

京セラ株式会社

京都府京都市伏見区竹田島羽殿町6番地

(72) 発明者 瀬戸口 剛

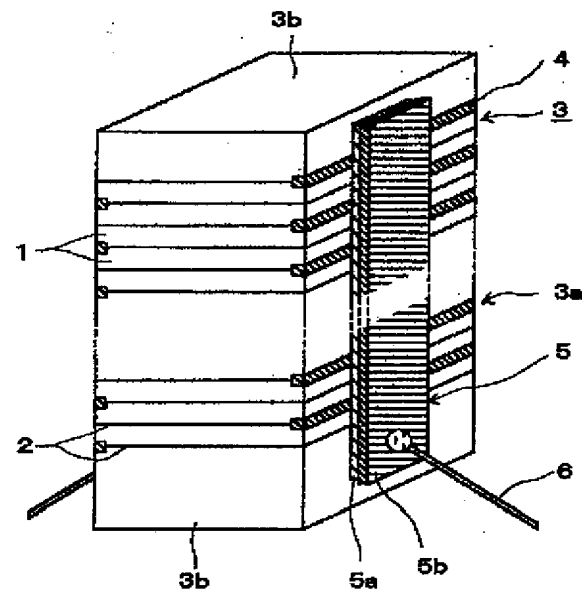
鹿児島県国分市山下町1番4号 京セラ株式会社総合研究所内

(54) 【発明の名称】 積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置

(57) 【要約】

【課題】 不活性体と活性体の焼成時の収縮差によるクラック発生を抑制できると共に、駆動時における不活性体と活性体の界面近傍の応力破壊を防止することができる積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置を提供する。

【解決手段】 複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる活性体3aと、該活性体3aの上下面にそれぞれ設けられた不活性体3bとからなる柱状積層体3の側面に、内部電極2が一層おきに交互に接続する一対の外部電極5を設けてなるとともに、活性体3a及び不活性体3bが同時焼成される積層型圧電素子であって、内部電極2中に圧電体1を構成する圧電セラミック粒子が存在するとともに、活性体3aの不活性体3b側における内部電極2中の圧電セラミック粒子の存在量が、活性体3aの中央部における内部電極2よりも多い。



【特許請求の範囲】

【請求項1】複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる活性体と、該活性体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体とからなる柱状積層体の側面に、前記内部電極が一層おきに交互に接続する一対の外部電極を設けてなるとともに、前記活性体及び前記不活性体が同時焼成される積層型圧電素子であって、前記内部電極中に前記圧電体を構成する圧電セラミック粒子が存在するとともに、前記活性体の不活性体側における内部電極中の圧電セラミック粒子の存在量が、前記活性体の中央部における内部電極よりも多いことを特徴とする積層型圧電素子。

【請求項2】複数の圧電体成形体と複数の内部電極パターンとを交互に積層してなる活性体成形体と、該活性体成形体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体成形体とからなる柱状積層体成形体を焼成し、柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面に外部電極を設ける工程とを具備する積層型圧電素子の製法であって、前記柱状積層体成形体の内部電極パターン中に前記圧電体成形体を構成する圧電セラミック粉末が存在するとともに、前記活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量が、前記活性体成形体の中央部における内部電極パターンよりも多いことを特徴とする積層型圧電素子の製法。

【請求項3】活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量が30～50体積%であることを特徴とする請求項2記載の積層型圧電素子の製法。

【請求項4】内部電極パターン中の圧電セラミック粉末は、平均粒径が0.5～5 μ mであることを特徴とする請求項2または3記載の積層型圧電素子の製法。

【請求項5】噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された請求項1記載の積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなることを特徴とする噴射装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に係わり、例えば、光学装置等の精密位置決め装置や振動防止用の駆動素子、自動車用エンジンの燃料噴射用の駆動素子等に使用される積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置に関するものである。

【0002】

【従来技術】従来、圧電体は、電圧を印加することにより伸縮する逆圧電効果を有している。しかしながら、圧電体1枚1枚の伸縮量は微量であることから、圧電体を複数枚積層して形成した積層型圧電素子を作製していた。この積層型圧電素子は、圧電体に電圧を印加して数十～数十 μ m伸長させ、アクチュエータの駆動力源とする

ものである。

【0003】このような積層型圧電アクチュエータには、同時焼成タイプと、圧電板と電極薄板を交互に積層したスタックタイプの2種類に分類されており、厚みの薄い圧電板を多数枚積層することが比較的容易であることから、低電圧高変位化及び小型化が可能な同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータがその優位性を示しつつある。

【0004】このような同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータでは、活性体の積層方向の両端面に不活性体を設けており、不活性体を介して活性体より発生した変位を外部に伝達している。この不活性体には、従来から活性体と同じ圧電材料が用いられている（実開昭61-127657号公報）。

【0005】従来、同時焼成タイプの積層型圧電アクチュエータは、複数の圧電体成形体と複数の内部電極パターンとを交互に積層してなる活性体成形体と、該活性体成形体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体成形体とからなる柱状積層体成形体を焼成し、該柱状積層体の側面に外部電極を設けて作製されていた。圧電体成形体を形成する圧電材料としては、PZTを主成分とする圧電セラミック粉末が用いられ、内部電極パターンとしては、銀、または銀-Pdが用いられている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記従来の積層型圧電アクチュエータにおいて、内部電極パターンのない不活性体成形体と内部電極パターンを有する活性体成形体とを同時焼成した場合、活性体における焼成時の収縮率が、内部電極材料である銀の影響により不活性体の収縮率より大きく、活性体と不活性体の界面でクラックが生じるという問題があった。

【0007】また、クラックが生じない場合でも、不活性体と活性体の焼成時の収縮差により、活性体の圧電磁器や内部電極に反りが発生し、分極時や駆動時において活性体が伸縮する際に内部応力が発生し、活性体と不活性体の界面にて剥離するという問題があった。

【0008】このような問題を解決する手段として、特開昭63-288074号公報には、不活性体を、活性体と同じ圧電材料に銀を添加混合して構成した積層型圧電アクチュエータが開示されている。このような積層型圧電アクチュエータによると、不活性体の部材として、活性体と同じ圧電材料に銀を含有して形成することにより、活性体と不活性体の焼成時の収縮差を抑制でき、焼成時の収縮差による活性体と不活性体間のクラックを抑制できる。

【0009】しかしながら、上記特開昭63-288074号に開示された積層型圧電アクチュエータでは、活性体は圧電効果により積層方向に変位するが、不活性体には圧電効果による変位が生じないため、積層型圧電アクチュエータの駆動時に、活性体と不活性体との界面近

傍に応力が集中し、破壊が生じ易いという問題があった。

【0010】本発明は、上記問題点を解決するものであり、不活性体と活性体の焼成時の収縮差によるクラック発生を抑制できると共に、駆動時における不活性体と活性体の界面近傍の応力破壊を防止することができる積層型圧電素子及びその製法並びに噴射装置を提供することを目的とする。

【0011】

【課題を解決するための手段】本発明の積層型圧電素子は、複数の圧電体と複数の内部電極とを交互に積層してなる活性体と、該活性体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体とからなる柱状積層体の側面に、前記内部電極が一層おきに交互に接続する一対の外部電極を設けてなるとともに、前記活性体及び前記不活性体が同時焼成される積層型圧電素子であって、前記内部電極中に前記圧電体を構成する圧電セラミック粒子が存在するとともに、前記活性体の不活性体側における内部電極中の圧電セラミック粒子の存在量が、前記活性体の中央部における内部電極よりも多いことを特徴とする。

【0012】本発明の積層型圧電素子は、複数の圧電体成形体と複数の内部電極パターンとを交互に積層してなる活性体成形体と、該活性体成形体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体成形体とからなる柱状積層体成形体を焼成し、柱状積層体を作製する工程と、該柱状積層体の側面に外部電極を設ける工程とを具備する積層型圧電素子の製法であって、前記柱状積層体成形体の内部電極パターン中に前記圧電体成形体を構成する圧電セラミック粉末が存在するとともに、前記活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量が、前記活性体成形体の中央部における内部電極パターンよりも多くすることにより作製される。

【0013】このような製法によれば、活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量を、活性体成形体の中央部における内部電極パターンよりも多くすることにより、活性体の端部において、圧電セラミック粉末が増加する一方、内部電極を構成する電極材料が減少し、活性体の端部が不活性体の材料組成に近似し、同時焼成時における収縮差を抑制することができ、不活性体と活性体の界面近傍における圧電体の反りを抑制でき、この部分におけるクラック発生を防止できる。

【0014】また、活性体の端部が不活性体の材料組成に近似しているため、その界面の接合強度を向上できるとともに、圧電体間の接合強度を向上することにより界面近傍の強度をも向上でき、積層型圧電素子の駆動時における不活性体と活性体間の界面およびその近傍の応力破壊を防止することができる。

【0015】さらに、本発明では、活性体成形体の不活

性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量が30～50体積%であることが望ましい。これにより、焼成時の不活性体と活性体の収縮差による圧電体の反りをさらに防止するとともに、活性体と不活性体界面及び界面近傍の接合強度をさらに向上できる。

【0016】また、本発明では、内部電極パターン中の圧電セラミック粉末は、平均粒径が0.5～5 μ mであることが望ましい。これにより、活性体と不活性体の界面近傍の接合強度をより向上できる。

【0017】本発明の噴射装置は、噴射孔を有する収納容器と、該収納容器内に収容された上記積層型圧電素子と、該積層型圧電素子の駆動により前記噴射孔から液体を噴出させるバルブとを具備してなるものである。

【0018】このような噴射装置では、積層型圧電素子が、同時焼成時の収縮差による不活性体と活性体の界面近傍のクラック発生を防止できるとともに、不活性体と活性体の界面の接合強度を向上し、界面近傍の強度をも向上でき、これにより駆動時における不活性体と活性体間の界面およびその近傍の応力破壊を防止できるため、耐久性に優れ、信頼性の高い噴射装置を提供できる。

【0019】

【発明の実施の形態】図1は本発明の積層型圧電アクチュエータからなる積層型圧電素子の斜視図であり、本発明の積層型圧電アクチュエータは、図1に示すように、複数の圧電体1と複数の内部電極2とを交互に積層してなる活性体3aと、この活性体3aの両端面に形成された不活性体3bからなる柱状積層体3の対向する側面において、内部電極2の端部に1層おきに絶縁体4を形成し、絶縁体4を形成していない内部電極2の端部を同一の外部電極5に接続して構成されている。

【0020】活性体3aと不活性体3bは同時焼成されて柱状積層体3が形成されており、活性体3aの圧電体1と不活性体3bは、同一圧電セラミック材料から構成されることが、焼成時における収縮差を小さくするという点から望ましい。活性体3aは、変位を発生させる部分であり、不活性体3bは、柱状積層体3を機械的に保持し、発生する力を外部へ伝達する機能を有する。

【0021】圧電体1は、例えば、チタン酸ジルコン酸鉛 $Pb(Zr, Ti)O_3$ （以下PZTと略す）或いは、チタン酸バリウム $BaTiO_3$ を主成分とする圧電セラミック材料などが使用されるが、これらに限定されるものではなく、圧電性を有するセラミックスであれば何れでも良い。なお、この圧電体材料としては、圧電歪み定数 d_{33} が高いものが望ましい。また、圧電体1の厚み、つまり内部電極2間の距離は、小型化及び高い電界を印加するという点から0.05～0.25mmであることが望ましい。

【0022】内部電極2は、銀、または銀-パラジウム、もしくはこれにガラスを含有して構成されている。

【0023】内部電極2は、同時焼成時には柱状積層体3の全ての側面に露出しているが、そのうち対向する側面において、内部電極2端部を含む圧電体1の端部1層おきに溝が形成され、該溝部にガラス、エポキシ樹脂、ポリイミド樹脂、ポリアミドイミド樹脂、シリコーンゴム等の絶縁体4が充填され、これにより、内部電極2の一方の端部が絶縁されている。

【0024】なお、絶縁体4は低ヤング率の材質、例えばシリコーンゴム等が好ましい。このように、内部電極2は互い違いに1層おきに絶縁され、絶縁されていない内部電極2の他方の端面は、予め塗布しておいた導電性耐熱接着剤5aに導電性部材5bを密着させた状態で、導電性耐熱接着剤5aを加熱硬化させることにより、外部電極5が形成されている。外部電極5の下側端部にはリード線6が取り付けられている。

【0025】活性体3aの圧電体1の厚みは、上記したように0.05～0.25mm、内部電極2の厚みは0.003～0.01mm、不活性体3bの厚みは、それぞれ0.5～3.0mmであり、不活性体3bの厚みは、活性体3aの圧電体1厚みの5～30倍であることが、活性体3aと不活性体3bの焼成時の収縮差における不活性体3bのクラック発生を抑制するという点から望ましい。圧電体1、内部電極2の積層数は、所望の特性を得るためにそれぞれ100～400層とされている。

【0026】そして、本発明の積層型圧電アクチュエータでは、内部電極2中には圧電体1を構成する圧電セラミック粒子が存在しており、活性体3aの不活性体3b側における内部電極2中の圧電セラミック粒子の存在量が、活性体3aの中央部よりも多くなっている。内部電極2中の圧電セラミック粒子の存在量が、活性体3aの中央部よりも多い内部電極2は、両側の不活性体3bから数えて5層目までとされている。

【0027】このような積層型圧電アクチュエータは、まず、複数の圧電体成形体と複数の内部電極パターンとを交互に積層してなる活性体成形体と、該活性体成形体の上下面にそれぞれ設けられた不活性体成形体とからなる柱状積層体成形体を作製する。

【0028】この際に、活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量が、活性体成形体の中央部における内部電極パターンよりも多くなるように、それぞれの内部電極パターン中に圧電体成形体を構成する圧電セラミック粉末を添加することが重要である。

【0029】即ち、圧電セラミック粉末を多く添加した導電性ペーストを用いて、例えば、活性体成形体の両端から5層目までの内部電極パターンを形成し、圧電セラミック粉末を少し添加した導電性ペーストを用いて、活性体成形体の両端から5層目以外の活性体成形体中央部の内部電極パターンを形成する。

【0030】活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量は30～50体積%であることが望ましい。これにより、焼成時の不活性体と活性体の収縮差による圧電体の反りを抑制できるとともに、活性体と不活性体界面の接合強度を向上できる。活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量は、内部電極の電気抵抗値を低く維持し、駆動時における局所的な発熱による破損を抑制するという点から30～35体積%が最も望ましい。活性体成形体の中央部における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量は、圧電体間の接合強度を向上するという点から10～25体積%であることが望ましい。

【0031】また、本発明では、内部電極パターン中の圧電セラミック粒子は、平均粒径が0.5～5μmであることが望ましい。これにより、活性体と不活性体界面の接合強度をより向上できる。内部電極パターン中の圧電セラミック粒子の平均粒径は、0.5～1.5μmが望ましい。

【0032】次に、上記した柱状積層体成形体を焼成し、柱状積層体を作製し、この柱状積層体の側面に外部電極を設けることにより、積層型圧電アクチュエータが作製される。

【0033】積層型圧電アクチュエータの製法について具体的に説明する。まず、チタン酸ジルコン酸鉛Pb(Zr, Ti)O₃などの圧電体セラミックスの仮焼粉末と、有機高分子からなるバインダーと、可塑剤とを混合したスラリーを作製し、スリップキャスト法により、厚み50～250μmのセラミックグリーンシートを作製する。

【0034】次に、活性体の両端部と活性体の中央部の内部電極2を形成するため、2種類の第1、第2導電性ペースト作製する。これらの第1、第2導電性ペースト中には、圧電体1との接合強度を向上させるため、圧電体1と同一の圧電体セラミック仮焼粉末が添加されるが、活性体の端部の内部電極2を形成する第1導電性ペースト中には、中央部の内部電極を形成する第2導電性ペーストよりも圧電体セラミック仮焼粉末が多く添加される。第1導電性ペースト中には、平均粒径0.5～5μmの圧電セラミック仮焼粉末が30～50体積%添加され、第2導電性ペーストには、平均粒径0.5～5μmの圧電セラミック仮焼粉末が10～25体積%添加される。尚、圧電体に用いられる圧電体セラミック仮焼粉末の平均粒径も0.5～5μmとされている。

【0035】内部電極を形成する導電性ペーストには、圧電体を構成する圧電セラミック仮焼粉末が添加されるが、この圧電セラミック仮焼粉末は、圧電体成形体を構成する圧電セラミック仮焼粉末と全く同一である必要はなく、例えば、圧電体成形体がPZTを主成分とし、添加物を添加した圧電材料を含有する場合には、導電性ペ

ースト中には、主成分であるPZTからなる圧電セラミック仮焼粉末を添加しても良い。圧電体との焼成収縮挙動を近づけるという点から、圧電体成形体と導電性ペースト中に添加される圧電セラミック仮焼粉末は全く同一組成を有することが望ましい。

【0036】この後、第2導電性ペーストを、グリーンシートの片面にスクリーン印刷法により1～10 μ mの厚みに印刷する。また、活性体の両端面から1～5層用の内部電極を形成するため、上記第1導電性ペーストを、グリーンシートの片面にスクリーン印刷法により1～10 μ mの厚みに印刷する。

【0037】塗布された導電性ペーストを乾燥して内部電極パターンを形成した後、先ず、第1導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを1～5層積層し、次に第2導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを100～400層積層し、この後第1導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを1～5層積層して、活性体成形体を作製し、この活性体成形体の両端面に、導電性ペーストが塗布されていない上記圧電体用と同一のグリーンシートを5～20層積層し、活性体成形体の両端面に不活性体成形体を形成して柱状積層体成形体を作製する。

【0038】次に、この柱状積層体成形体を50～200℃で加熱を行いながら加圧を行い、一体化する。一体化された柱状積層体成形体は所定の大きさに切断された後、400～800℃で5～40時間、脱バインダが行われ、900～1200℃で2～5時間で本焼成が行われ、柱状積層体を得る。この柱状積層体の側面には、内部電極2の端部が露出している。

【0039】その後、柱状積層体3の対向する側面において、内部電極2端部を含む圧電体1の端部に互い違いになるように、1層おきに深さ50～500 μ m、積層方向の幅50～300 μ mの溝を形成し、該溝部にシリコーンゴム等の絶縁体4を充填する。以上のように、内部電極2は互い違いに1層おきに絶縁され、交互に同一の外部電極5に接続される。

【0040】この後、正極用および負極用の外部電極5にリード線6を接続し、柱状積層体3の外周面にデ IPPING等の方法により、シリコーンゴムを被覆し、更にその表面に低水蒸気透過率樹脂をデ IPPINGにより被覆した後、0.1～3kVの分極電圧を印加し、柱状積層体3全体を分極処理することで、最終的な積層型圧電アクチュエータを得る。

【0041】なお、本発明の積層型圧電アクチュエータは、四角柱、六角柱、円柱等、どのような柱体であっても構わないが、切断の容易性から四角柱状が望ましい。

【0042】図2は、本発明の噴射装置を示すもので、図において符号31は収納容器を示している。この収納容器31の一端には噴射孔33が設けられ、また収納容器31内には、噴射孔33を開閉することができるニードルバルブ35が收容されている。

【0043】噴射孔33には燃料通路37が連通可能に設けられ、この燃料通路37は外部の燃料供給源に連結され、燃料通路37に常時一定の高圧で燃料が供給されている。従って、ニードルバルブ35が噴射孔33を開放すると、燃料通路37に供給されていた燃料が一定の高圧で内燃機関の図示しない燃料室内に噴出されるように形成されている。

【0044】また、ニードルバルブ35の上端部は直径が大きくなっており、収納容器31に形成されたシリンダ39と摺動可能なピストン41となっている。そして、収納容器31内には、上記した圧電アクチュエータ43が収納されている。

【0045】このような噴射装置では、圧電アクチュエータ43が電圧を印加されて伸長すると、ピストン41が押圧され、ニードルバルブ35が噴射孔33を閉塞し、燃料の供給が停止される。また、電圧の印加が停止されると圧電アクチュエータ43が収縮し、皿バネ45がピストン41を押し返し、噴射孔33が燃料通路37と連通して燃料の噴射が行われるようになっている。

【0046】

【実施例】チタン酸ジルコン酸鉛Pb(Zr, Ti)O₃からなる平均粒径0.5～5 μ mの圧電セラミックの仮焼粉末と、有機高分子からなるバインダーと、可塑剤とを混合したスラリーを作製し、スリップキャスト法により、厚み150 μ mのセラミックグリーンシートを作製した。

【0047】次に、活性体の端部と活性体の中央部の内部電極を形成するため、2種類の銀-パラジウムを主成分とする第1、第2導電性ペーストを作製した。活性体の端部の内部電極を形成する第1導電性ペースト中には、平均粒径0.5～5 μ mの圧電セラミック仮焼粉末を30～50体積%添加し、活性体の中央部の内部電極を形成する第2導電性ペーストには、平均粒径0.5～5 μ mの圧電セラミック仮焼粉末を15体積%添加した。

【0048】この後、第2導電性ペーストを、グリーンシートの片面にスクリーン印刷法により5 μ mの厚みに印刷する。また、活性体の両端面から1～5層用の内部電極を形成するため、上記第1導電性ペーストを、グリーンシートの片面にスクリーン印刷法により5 μ mの厚みに印刷する。

【0049】塗布された導電性ペーストを乾燥して内部電極パターンを形成した後、先ず、第1導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを5層積層し、次に第2導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを200層積層し、この後第1導電性ペーストが塗布されたグリーンシートを5層積層して、活性体成形体を作製し、この活性体成形体の両端面に、導電性ペーストが塗布されていない上記圧電体用と同一のグリーンシートを10層積層し、活性体成形体の両端面に不活性体成形体を形成して柱状積層体成形体を作製した。

【0050】次に、この柱状積層体成形体を100℃で加熱を行いながら加圧を行い一体化し、10mm×10mmの大きさに切断した後、800℃で10時間の脱バインダを行い、1130℃で2時間焼成を行ない柱状積層体を得た。

【0051】その後、柱状積層体の対向する側面において、内部電極端部を含む圧電体1の端部に該2側面において互い違いになるように、1層おきに深さ100μm、積層方向の幅50μmの溝を形成した。この後、絶縁されていない内部電極の他方の端面は、予め塗布しておいた導電性耐熱接着剤に厚み0.1mmの導電性部材の銀箔を密着させた状態で200℃加熱し、加熱硬化させることにより、外部電極を形成した。

【0052】比較例として、上記第2導電性ペーストをグリーンシートに塗布し、これを200層積層して、活性体成形体を形成する以外は、上記と同様にして積層型圧電アクチュエータを作製した。

【0053】得られた2種類の積層型圧電アクチュエータの耐久性を比較するために、印加荷重50kgf下で、0Vから+200Vの直流電界を50Hzの周波数にて1×10⁹回印加する耐久試験を行った。その結果、本発明品は変位量30μmで1×10⁹回でも問題無く駆動するのを確認した。また、比較例の積層型圧電アクチュエータも変位量は30μmであったが、1×10⁷回にて駆動しなくなった。このアクチュエータの外周面を観察した結果、不活性体と活性体の界面で剥がれが生じていた。

【0054】また、本発明者は、上記第1導電性ペースト中の圧電セラミック仮焼粉末を変化させ、活性体と不活性体との接合強度、活性体端部の反り量、内部電極の比抵抗を求め、これらの結果を図3、図4、図5にそれぞれ記載した。尚、活性体と不活性体との接合強度は、積層型圧電アクチュエータを横にして3点曲げ抗折試験にて、活性体端部の反り量は、活性体の積層方向端面の中央部と端の部分とを顕微鏡にて観察し、端の部分の中央部からの突出量を算出して求め、内部電極の比抵抗は抵抗計を用いて求めた。

【0055】図3から、圧電セラミック仮焼粉末と接合強度の関係において、接合強度は圧電セラミック仮焼粉末の増加に伴い増加しており、50体積%より飽和していることが判る。また、図4から、圧電セラミック仮焼粉末の添加量が30体積%以上で反り量が5μm以下となっており、図3の結果を踏まえると30～50体積%が望ましいことが判る。

【0056】また、図5から、圧電セラミック仮焼粉末の添加量の増加に伴い、内部電極の抵抗が急速に増加していることが判る。この結果から、抵抗値が高すぎると駆動時に局所的な発熱により破損が加速されることから、圧電セラミック仮焼粉末の添加量は30～35体積

%が最も望ましいことが判る。

【0057】さらに、圧電セラミック仮焼粉末の平均粒径と、活性体と不活性体との接合強度の関係を調査した結果を図6に示す。この図6から、圧電セラミック仮焼粉末の平均粒径0.5～5μmにおいて接合強度がほぼ圧電素子単体の抗折強度(95MPa)と同等となっていることが判る。このことから、圧電セラミック仮焼粉末の平均粒径は0.5～5μmが望ましいことが判る。

【0058】

【発明の効果】本発明の積層型圧電素子では、活性体成形体の不活性体成形体側における内部電極パターン中の圧電セラミック粉末の存在量を、活性体成形体の中央部よりも多くすることにより、活性体の端部において、圧電セラミック粒子が増加する一方、内部電極を構成する電極材料が減少し、活性体の端部が不活性体の材料組成に近似し、同時焼成時における収縮差を抑制することができ、不活性体と活性体の界面近傍における圧電体の反り抑制でき、この部分におけるクラック発生を防止できる。

【0059】また、活性体の端部が不活性体の材料組成に近似しているため、その界面の接合強度を向上できるとともに、界面近傍の強度をも向上でき、積層型圧電素子の駆動時における不活性体と活性体間の界面およびその近傍の応力破壊を防止することができる。従って、耐久性に優れ、信頼性の高い積層型圧電素子を提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の積層型圧電アクチュエータを示す斜視図である。

【図2】本発明の噴射装置を示す説明図である。

【図3】圧電セラミック仮焼粉末の添加量と接合強度の関係を示す図である。

【図4】圧電セラミック仮焼粉末の添加量と活性体の反り量の関係を示す図である。

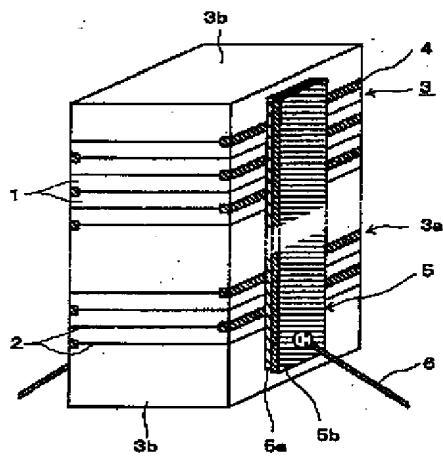
【図5】圧電セラミック仮焼粉末の添加量と内部電極の電気抵抗の関係を示す図である。

【図6】圧電セラミック仮焼粉末の平均粒径と接合強度の関係を示す図である。

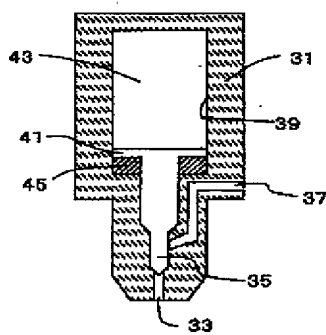
【符号の説明】

- 1・・・圧電体
- 2・・・内部電極
- 3・・・柱状積層体
- 3a・・・活性体
- 3b・・・不活性体
- 5・・・外部電極
- 31・・・収納容器
- 33・・・噴射孔
- 35・・・バルブ
- 43・・・圧電アクチュエータ

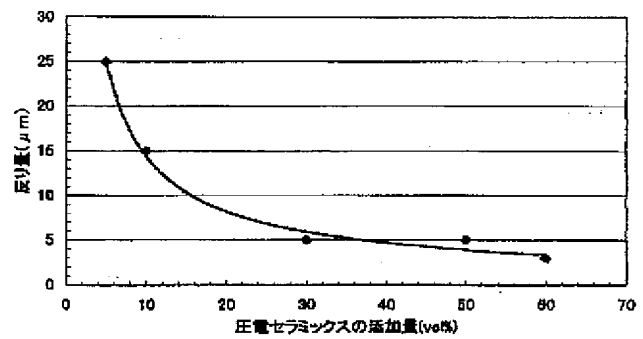
【図1】



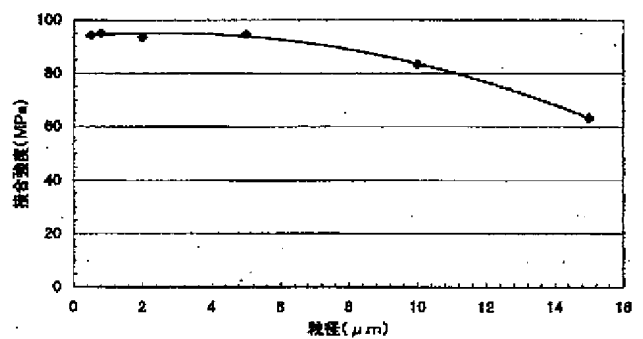
【図2】



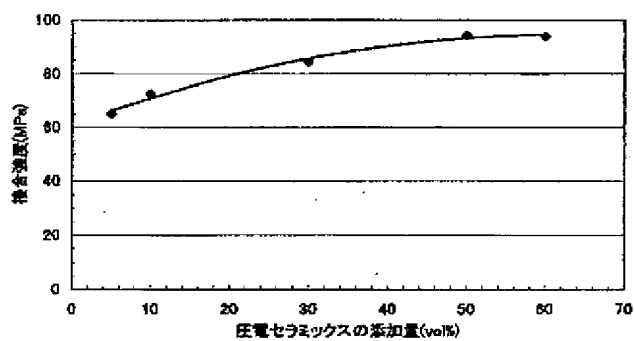
【図4】



【図6】



【図3】



【図5】

